



中华人民共和国国家标准

GB/T 5701—2008
代替 GB/T 5701—1985

室内热环境条件

Thermal environmental conditions for human occupancy

2008-07-16 发布

2009-01-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般要求 4

5 热舒适条件 5

6 标准的采用..... 14

7 热环境的评价..... 15

附录 A（资料性附录） 作业温度的计算 18

参考文献 19

前 言

本标准参考采用美国 ANSI/ASHRAE55—2004《室内热环境条件》，一致性程度为非等效。

本标准代替 GB/T 5701—1985《室内空调至适温度》。与 GB/T 5701—1985 相比，主要变化如下：

——扩大了适用范围，使其既适用于原标准规定的条件，也适用于其他复杂情况；

——依据标准的内容更改了名称；

——技术内容更为详细；

——在规范性引用文件中增加了 GB/T 18048 和 GB/T 18049。

本标准的附录 A 为资料性附录。

本标准由全国人类工效学标准化技术委员会提出并归口。

本标准主要起草单位：清华大学、中国标准化研究院。

本标准主要起草人：张伟、肖惠、冉令华、张欣。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 5701—1985。

室内热环境条件

1 范围

本标准规定了能为多数人群所接受的室内热环境条件。

本标准适用于在海拔 3 000 m 以下的室内停留 15 min 以上的健康成年人。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 18048 热环境人类工效学 代谢率的测定(GB/T 18048—2008,ISO 8996:2004,IDT)

GB/T 18049 中等热环境 PMV 和 PPD 指数的测定及热舒适条件的规定(GB/T 18049—2000,eqv ISO 7730:1994)

ISO 7726 热环境人类工效学 物理量测量仪器

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

适应模型 adaptive model

将室内设计温度或者接受温度区间与室外气象学或者气候学参数进行关联的模型。

3.2

空气速度 air speed

某一点空气的运动速度,不考虑方向性。

3.3

克罗 clo

用于表达服装隔热性能的单位,1 clo=0.155 m²·°C/W。

3.4

热舒适 thermal comfort

表示对于热环境的主观满意程度,通过主观评价进行评定。

3.5

涡动气流 draft

引起身体局部不同程度寒冷感的空气流动。

3.6

涡动气流不适率 draft rate

DR

由于涡动气流造成的不满意人群的百分数。

3.7

热环境 thermal environment

影响人体散热的环境特性。

3. 8

可接受热环境 acceptable thermal environment

显著多数人群感觉可接受的热环境。

3. 9

单服 garment

一件衣服。

3. 10

湿度比例 humidity ratio

一定体积空气中水蒸气与干空气的质量比。

3. 11

相对湿度 relative humidity

RH

空气中水蒸气压(或质量)与在同样气压条件和温度条件下饱和蒸汽压之比。

3. 12

服装保暖性 clothing(ensemble)insulation

I_{cl}

一套服装对于热传递的阻值,单位为克罗(clo)。

注:服装的隔热性与整个人体表面的热传递有关,因此也包括不被服装覆盖的身体部分,如头和手。

3. 13

着装保暖性 garment insulation

I_{clo}

裸露人体穿上单服所增加的热传递的阻值,单位为克罗(clo)。

3. 14

代谢产热量单位 metaboloic rate unit

MET

表示人体内部代谢活动所产能量的单位,定义为 58.2 W/m^2 ,这一单位等于一般人在静坐时单位身体表面所产能量的平均值。人的身体表面积平均为 1.8 m^2 。

3. 15

代谢率 metabolic rate

M

表示人体某一器官通过代谢将化学能转化为热能和机械能的速率,通常用人体单位面积的代谢率表示。

3. 16

可控的自然调节空间 occupant controlled naturally conditioned spaces

基本由使用者通过开关窗户来调节的热环境空间。

3. 17

适中热环境条件 thermal neutrality

与人群感觉中性(至适的感觉)相对应的室内热指标。

3. 18

不满意比例 percent dissatisfied

PD

由于局部不舒适,预计不满意的人群比例。

3. 19

预计平均热感觉指数 predicted mean vote

PMV

大样本人群通过 7 点热感觉量表进行表决的平均值。

3. 20

预计不满意率 predicted percentage of dissatisfied

PPD

由 PMV 决定的对热环境感觉不满意的定量预计比例指标。

3. 21

不对称辐射温度 radiant temperature asymmetry

微小平面两侧平面辐射温度的差异。

3. 22

响应时间 response time (90%)

当温度发生特定阶变时,测量传感器达到最终实际测量值 90% 的时间。对于只包含指数响应特性的测量系统,该时间等于指数常量的 2.3 倍。

3. 23

热感觉 thermal sensation

一种感觉,通常分为冷、凉、较凉、适中、较暖、暖、热七个等级,需要通过主观评价得到。

3. 24

阶变 step change

某一变量的变化,或者设定的变化或者是测量之间的变化;控制设置点的变化是典型的阶变。

3. 25

空气温度 air temperature

T_a

人周围空气的温度。

3. 26

露点温度 dew point temperature

T_{dp}

在恒定气压条件下进行冷却时,空气中的蒸汽压饱和($p_{sdp} = p_a$),相对湿度达到 100% 时的温度。

3. 27

月平均室外温度 mean monthly outdoor air temperature

$T_{a(out)}$

当作为图 8 适应模型的输入变量时,该温度为所考查月份一个月之内每天最低室外气温(干球温度)和最高气温的算术平均值。

3. 28

平均辐射温度 mean radiant temperature

T_r

假想的黑色包围体均匀表面的温度,人在该包围体中的辐射换热量与在实际非均匀空间的换热量相同。测量位置见 7.2。

3. 29

作业温度 operative temperature

T_o

假想的黑色包围体的均匀温度,人在该包围体中的辐射换热及对流换热量与在实际非均匀环境的

换热量相同,人在该假想包围体中的位置见 7.2。

3.30

平面辐射温度 plane radiant temperature

T_{pr}

包围体的均匀温度,在该包围体中某一小平面对一侧的入射辐射热流量与实际环境中的相同。

3.31

时间常数 time constant

当温度发生阶变时,测量传感器达到最终测量值的 63% 的时间。

3.32

紊流强度 turbulence intensity

T_v

空气速度标准差(S_{Dv})与空气速度平均值($\bar{v}$)的比值。紊流强度也可以用百分数表示(如 $T_v = [S_{Dv}/\bar{v}] \times 100$)。

3.33

蒸汽压 water vapor pressure

p_a

在相同温度下湿润空气中的水蒸气单独占有相同空间体积时所产生的压力。

3.34

饱和露点蒸汽压 saturated dew point water vapor pressure

p_{adp}

饱和温度条件下在没有水液相存在的情况下水蒸气的压力。

3.35

空气平均速度 mean velocity

$\bar{v}$

在一定时间段内空气瞬时速度的平均值。

3.36

空气速度标准差 velocity standard deviation

S_{Dv}

描述空气瞬时速度在平均速度附近离散程度的量,定义为瞬时速度与平均速度差值的均方根。每一样本的瞬时速度用 2 s 以内的速度平均值表示。

3.37

占有区域 occupied zone

一般由人占有的区域,通常考虑地面到 1.8 m 高度之间、离开外墙/窗户或者固定暖气、通风机或者空调机 1 m 以上、离开内墙面 0.3 m 以上的区域。

4 一般要求

4.1 本标准所说的环境因素为温度、热辐射、湿度和空气流动速度,人的因素为活动强度和着装。本标准对于可能影响舒适和健康的非热环境因素,如空气质量、声音、照明或者其他物理的、化学的或者生物的空间污染未做出规定。

4.2 由于室内热环境非常复杂,所以使用本标准应该将标准中的所有准则一起考虑。

4.3 在使用本标准时,需要针对具体的空间和空间中的人进行考虑,需要明确指出本标准所针对的空间,而如果不是应用于整个空间,则需要明确指出空间中具体针对的区域。使用本标准还必须明确指出所针对的使用人群情况(那些在考虑空间中停留 15 min 以上的人群)。

4.4 使用本标准时需要考虑人的活动情况和着装情况,当实际空间中人的体力活动情况或者着装情况存在显著差异时,这种差异需要予以考虑。

4.5 由于空间中人群个体之间的差异性,包括活动情况和着装情况,有时不可能实现一个所有人都能接受的热环境。如果本标准的要求对于一些人无法予以满足,则需要明确指出这些人来。

4.6 本标准所要求的热环境条件由 5.2 或 5.3 规定。使用本标准需要清楚地指出是基于其中哪一条的规定,这两条中有关的要求都应满足。

5 热舒适条件

5.1 概述

热舒适是描述人们对于热环境条件满意情况的。由于个体之间存在较大的差异性,既包括生理性差异也包括心理性差异,因此难以使得某一空间环境中的每一个人都满意,每一个人的舒适热环境条件是不一样的。然而,基于所收集的大量实验室数据和现场数据,可以确定一个能使得一定百分比的人群感觉热舒适的热环境条件。本章对满足空间中一定百分比人群热舒适要求的热环境条件进行了定义。在定义热舒适条件时需要说明六个基本因素,其他一些次要因素在特定条件下也会影响热舒适。下面列出了这六个基本因素。

- 代谢率;
- 着装隔热性;
- 空气温度;
- 辐射温度;
- 空气速度;
- 湿度。

5.4 中和 GB/T 18048、GB/T 18049 对这六个因素进行了完整的描述。

这六个因素会随着时间发生变化,然而本标准只对稳态情况进行说明(5.2.5 对一定限度的温度变化进行了规定),因此如果一个人刚刚从另外一个不同热环境进入到本标准规定的热环境中,则他可能在短时间内并不能对新环境感到舒适,在前一个热环境中的暴露情况和活动情况可能对人在新热环境条件下的热舒适感觉造成大约 1 个小时的影响。除此之外的另外五个因素对于人体各部位的影响可能是不均匀的,而这一不均匀性在决定热舒适时可能是一个重要考虑因素,5.2.4 对于不均匀性进行了说明。

绝大多数的热舒适数据都是针对静坐或者接近静坐活动的办公室工作条件的,本标准主要针对这些条件,然而也可以用于确定中等体力活动条件下的热环境。本标准不适用于睡眠或者卧床休息的情况。目前的已有数据不包括儿童、残疾人或者体弱人员的热舒适需求数据,然而如果应用得当,本标准的信息也可以用于这些人群,例如教室热环境。

5.2 中包含用于多数应用情况的方法,然而在自然调节情况下的空间热舒适条件可能会与其他室内情况不尽相同,现场试验表明在能通过窗户进行自然温度调节的情况下,人们的热舒适主观感觉与封闭环境下不同,这是由不同的经验、可控制性和人们的期望转变造成的。

5.3 中规定了认定自然调节环境的条件要求,其方法可以用于符合这些条件要求的场合,而不能用于其他场合。

5.4 中详细描述了一些变量,为了有效地使用第 5 章,需要清楚地理解这些变量。

5.2 可接受热环境的确定方法

5.2.1 总则

在使用 5.2 确定热舒适条件时,5.2.2~5.2.6 的所有要求都应满足。本标准推荐一定的人群比例来构成热环境的可接受性以及与此比例相关的数值。

5.2.2 作业温度

5.2.2.1 一般要求

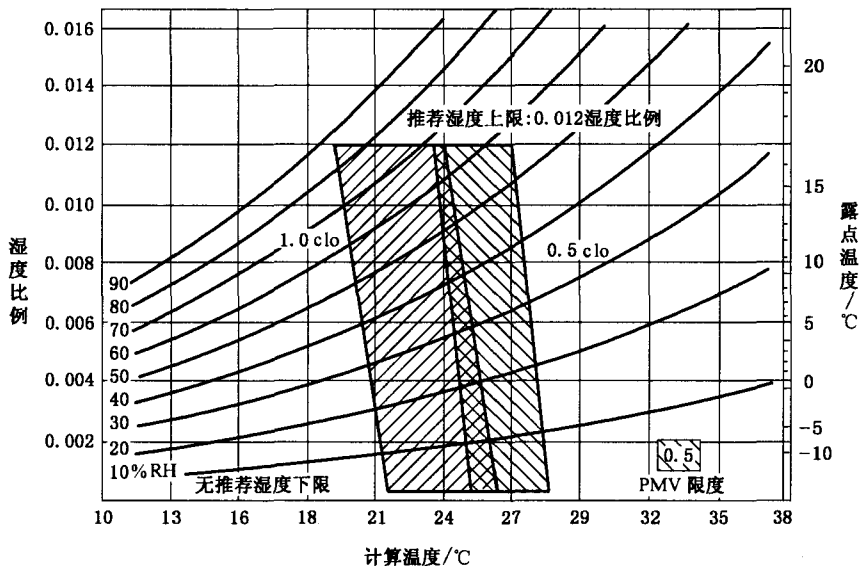
在给定湿度条件、空气速度、代谢率和着装条件的情况下,可以确定热舒适范围。热舒适范围定义为能提供可接受的热环境条件的作业温度区间,或者定义为可接受的空气温度和平均辐射温度组合。

本节描述了可以用于确定舒适区间温度范围的方法。5.2.2.1 使用简化的图示方法来确定舒适区间,这一方法可以用于很多典型应用场合。5.2.2.2 基于热平衡模型使用计算机程序来确定舒适区间,这一方法可以用于更大范围的应用场合。对于给定的一系列条件,运用这两种方法所得出的结果是一致的,因此只要每一方法所规定的使用条件能够满足,可以使用两种方法中的任何一种。

可以参照附录 A 确定作业温度,在附录 A 描述的一些条件下也可以把干球温度作为作业温度的近似。

5.2.2.2 用于典型室内环境的图示方法

图 1 的使用条件为:空间中人的体力活动对应于代谢率在 1.0 MET~1.3 MET 之间,人的着装隔热值在 0.5 clo~1.0 clo 之间。可参照 GB/T 18048 估算代谢率,参照 GB/T 18049 估算服装隔热值。多数办公空间处于这一范围。图 1 所给出的作业温度区间代表 80% 的人群接受性,这一接受性基于 PMV-PPD 指标假设:10% 的人因为一般热舒适要求(全身)感到不满意,再加上平均 10% 的人因为局部不舒适(身体的部分)而感到不满意。GB/T 18049 提供了 PMV-PPD 计算机程序中的一系列输入和输出生成该图。



注:数据基于 GB/T 18049。

图 1 典型室内环境下可接受的作业温度和湿度范围

图 2 规定了满足上述条件并且空气速度不大于 0.20 m/s 情况下的环境的热舒适范围。图中绘出了两个区域:一个为 0.5 clo 着装情况,另一个为 1.0 clo 着装情况,这两个是在室外环境分别为“暖”和“凉”时比较典型的着装情况。中间着装情况下的作业温度范围可以通过 0.5 clo 和 1.0 clo 情况下的数值运用下面公式进行线性插值得到

$$\begin{cases} T_{\min, I_{cl}} = [(I_{cl} - 0.5 \text{ clo}) T_{\min, 1.0 \text{ clo}} + (1.0 \text{ clo} - I_{cl}) T_{\min, 0.5 \text{ clo}}] / 0.5 \text{ clo} \\ T_{\max, I_{cl}} = [(I_{cl} - 0.5 \text{ clo}) T_{\max, 1.0 \text{ clo}} + (1.0 \text{ clo} - I_{cl}) T_{\max, 0.5 \text{ clo}}] / 0.5 \text{ clo} \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$T_{\max, I_{cl}}$ ——着装条件为 I_{cl} 时的作业温度上限;

$T_{\min, I_{cl}}$ ——着装条件为 I_{cl} 时的作业温度下限;

I_{cl} ——着装的隔热值,单位为克罗(clo)。

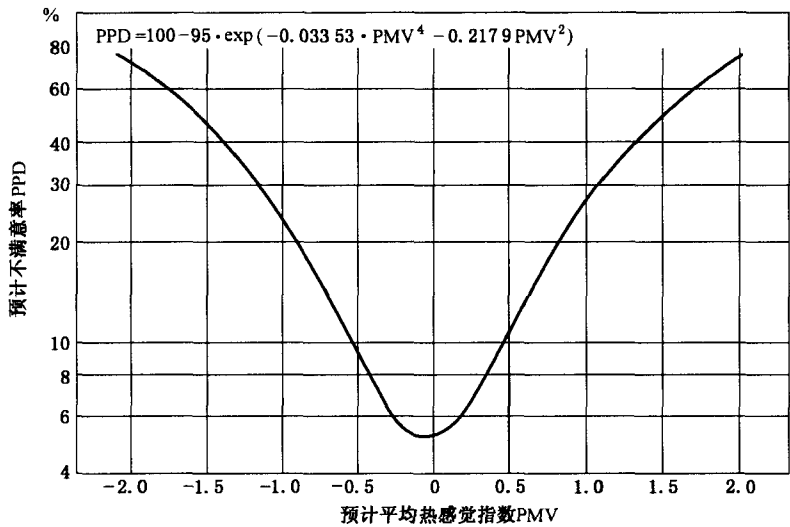
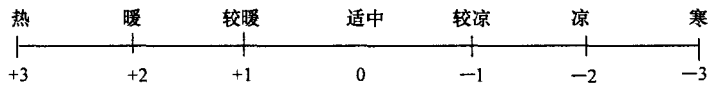


图2 预计不满意率 PPD 与预计平均热感觉指数 PMV 之间的函数关系

在某些情况下可以使用大于 0.20 m/s 的空气速度来提高作业温度的上限,5.2.4 说明了这些调整方法并规定了这些调整的必要条件。

5.2.2.3 通用室内应用场合的计算机模型方法

本模型方法的使用条件为:空间中人的体力活动对应于代谢率在 1.0 MET~2.0 MET 之间,人的着装隔热值在 1.5 clo 以下。可参照 GB/T 18048 来估算代谢率,参照 GB/T 18049 估算服装隔热值。人的热感觉的量化定义如下:



预计平均热感觉指数 PMV 方法使用热平衡原理将 5.1 中的六个热舒适关键因素与人们依据上述量表的响应联系起来。如图 2 所定义,预计不满意率 PPD 指数与 PMV 相关。它假设在热感觉量表中选择 +2, +3, -2 或者 -3 的人是感觉不满意的,而且简单地认为 PPD 在适中 PMV 两侧是对称的。对于典型应用场合,一般舒适的可接受热环境要求: $PPD < 10$, $-0.5 < PMV < +0.5$,这是图 1 所示方法的基础。

热舒适范围定义为:空气温度与平均热辐射温度的组合效果使得 PMV 处于上述规定的推荐限度以内。PMV 模型运用问题中的空气温度和平均辐射温度,以及相关的代谢率、着装隔热值、空气速度和湿度进行计算。如果运用模型计算出的 PMV 值处于推荐限度以内,则环境条件处于热舒适范围。

使用本标准中的 PMV 模型需要限定空气速度不大于 0.20 m/s,在某些情况下可以使用大于 0.20 m/s 的空气速度来提高作业温度的上限,5.2.4 描述了这些调整方法并规定了这些调整的必要条件。5.2.4 的调整针对的是在空气速度为 0.20 m/s 时采用 PMV 模型计算出的热舒适范围的上限。

有多个计算机程序代码可以预计 PMV-PPD,本标准采用 GB/T 18049 中的程序代码。如果使用别的代码版本,使用者需要负责验证所使用的代码版本与 GB/T 18049 中的代码产生的结果相同。

5.2.3 湿度限度

所设计的湿度控制系统应该能将湿度控制在 0.012 以下,这一湿度对应于标准气压下的水蒸气压 1.910 kPa 或者露点温度 16.8 °C。

热舒适没有最低湿度极限,相应地本标准不规定最低湿度水平。然而,一些非热舒适因素,如皮肤干燥、过敏反应、眼睛干燥、产生静电等可能会对过低的湿度环境设置湿度下限。

5.2.4 提高空气速度

目前没有关于提高空气速度与改善热舒适之间的精确关系数据,然而只要受影响的人能够控制空

气速度的话,本标准允许通过提高空气速度来提高可接受的温度上限值。图 3 显示了可以提高的温度数值,图中每一条曲线所对应的空气速度和温度的组合产生相同的皮肤热损失,这些曲线的参照点是空气速度为 0.20 m/s 条件下的上限舒适温度(PMV=+0.5)。本图针对的是着轻装的人(着装隔热值在 0.5 clo~0.7 clo 之间)从事接近静坐等级的体力活动(代谢率在 1.0 MET~1.3 MET 之间)。

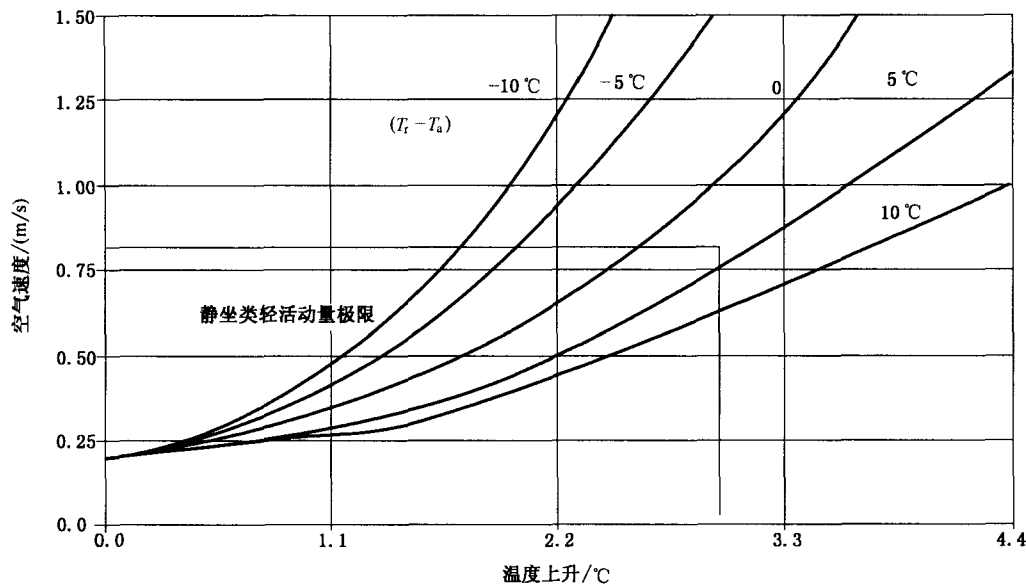


图 3 抵消温度上升所需要的空气速度

图 3 中所指的上升温度既适合于平均辐射温度,也适合于空气温度,也就是说两个温度相对于起点的上升幅度都是相同的。当平均辐射温度较低而空气温度较高时,提高空气速度对于增加散热不太有效;相反地,当平均辐射温度较高而空气温度较低时,提高空气速度对于增加散热比较有效。因此,如果空气温度与平均辐射温度存在相对差异时,应该使用图 3 中不同的对应曲线,可以采用插值的办法来求取中间值。

可以通过提高空气速度的办法来补偿空气温度和平均辐射温度的升高,但是这一温度升高值相对于未提高空气速度时的舒适温度值不应超过 3 °C,所需要的空气速度不应高于 0.8 m/s。由于人群个体之间对于期望的空气速度差别很大,因此空气速度增加幅度必须处于相关有关个体的控制之内,空气速度调节步长范围不应大于 0.15 m/s。提高空气速度可以获得的好处依赖于人们的着装情况和体力活动情况,人们从事较高的活动时比静坐时皮肤湿润程度增加,因此提高空气速度的效果更大。类似地,人们着轻装时体表皮肤裸露面积更大,因此提高空气速度的效果也更大。所以,图 3 对于体力活动高于 1.3 MET、着装隔热小于 0.5 clo 的情况是保守的,因此可以使用。

人们着厚装时体表皮肤覆盖面积加大,从而使得提高空气速度的效果变小,因此图 3 对于着装隔热大于 0.7 clo 的情况会低估所需的空气速度,相应地不可使用本图数据。

5.2.5 局部热不舒适

5.2.5.1 总则

下列因素会导致人的头至脚之间的垂直空气温度差异,这一差异会引起身体局部不舒适,在确定可接受热舒适条件时需要予以考虑:

- 不对称的辐射场;
- 局部对流制冷(涡动气流);
- 接触热的或者冷的地面。

本条规定了对这些因素的要求。本条规定的要求适用于着轻装的人(着装隔热值在 0.5 clo~0.7 clo 之间)从事近似静坐体力活动(代谢率在 1.0 MET~1.3 MET 之间)的情况。

当代谢率更高或者着装更保暖时,人们对局部冷却不太敏感,因此身体局部不舒适感会降低,因此本节的要求也可以用于代谢率高于 1.3 MET、着装隔热值高于 0.7 clo 的情况,只是要求更保守而已。

人在全身比较凉时会比全身适中时对局部不舒适更为敏感,而在全身适中时会比全身比较暖时对局部不舒适更为敏感,本条的要求是基于环境温度处于舒适范围中心情况时给出的,这些要求可以适用于整个舒适范围,只是在接近舒适温度上限时可能趋于保守,而在接近舒适温度下限时可能低估可接受性。

表 1 针对 5.2.5.2~5.2.5.5 中所描述的每一局部热不舒适因素的预计不满意率(PD)作出了规定。表 1 中所有局部热不舒适因素的条件都必须同时得到满足,所规定的热环境水平符合本标准要求。

表 1 涡动气流引起的局部热不舒适 DR 和其他因素引起的不满意率 PD

涡动气流引起的 DR	垂直温度差异引起的 PD	地板冷热引起的 PD	辐射不对称性引起的 PD
20%	5%	10%	5%

5.2.5.2 辐射温度不对称性

由于冷热表面和太阳光直射,人体周围的热辐射场可能并不均匀,这一不对称性可能引起局部不舒适和降低空间热环境的可接受性。一般地,人们对于由暖屋顶引起的不对称辐射比由垂直冷热面引起的不对称辐射更为敏感。图 4 给出了由下列因素引起的辐射温度不对称性和所引起的预计不满意率之间的函数关系:热屋顶、凉墙面、凉屋顶、暖墙面。

表 2 规定了辐射温度不对称性的限度,也可以同时用图 4 和表 1 规定的 PD 限度来确定允许的辐射不对称性。

表 2 允许的温度不对称性 单位为摄氏度

辐射温度不对称性			
暖屋顶	凉墙面	凉屋顶	暖墙面
5	10	14	23

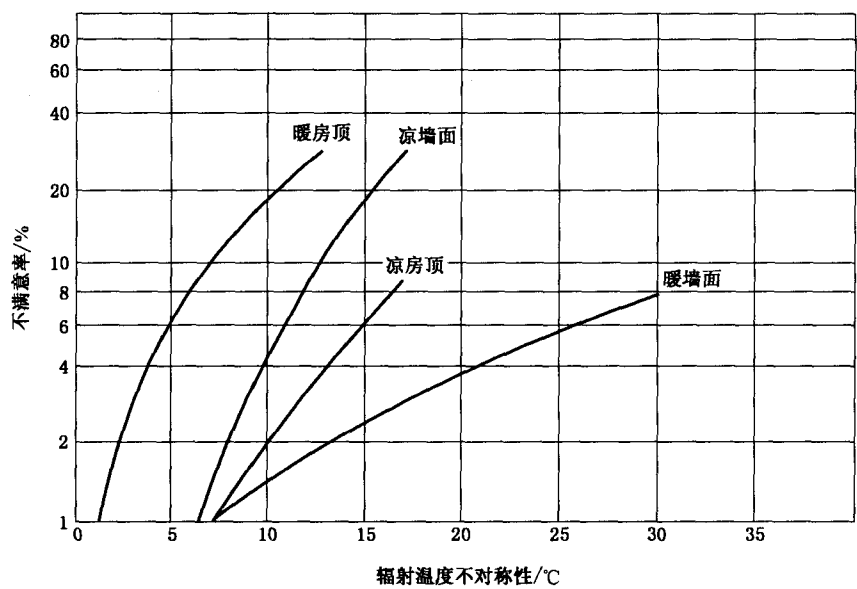


图 4 辐射温度不对称性引起的局部热不舒适

5.2.5.3 涡动气流

涡动气流是由空气流动引起的不希望的身体局部寒冷感。涡动气流的感觉取决于空气速度、空气温度、紊流强度、体力活动情况和着装情况。没有被衣服覆盖的皮肤,特别是包括头、颈和肩的头部区域和包括踝、脚和腿的腿部区域,对于涡动气流的感觉是最敏感的。本条的要求是基于从后面来风时头部区域的敏感性给出的,对于吹向身体其他部位和来自其他方向的气流,本要求可能显得保守。

图 5 规定了最大允许空气速度与空气温度、紊流强度之间的函数关系,也可以使用下面的公式来确定最大允许空气速度。下面公式给出了涡动气流引起的不满意率 DR:

$$DR = [34 - T_a][v - 0.05]_{0.62} (0.37v \cdot T_v + 3.14) \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- DR——由于涡动气流引起的不满意率;
- T_a ——局部空气温度,单位为摄氏度(°C);
- v ——局部平均空气速度,单位为米每秒(m/s),基于平均速度 $\bar{v}$;
- T_v ——局部紊流强度,%。

如果空气速度 $v < 0.05$ m/s,使用 $v = 0.05$ m/s。如果结果 $DR > 100\%$,使用 $DR = 100\%$ 。

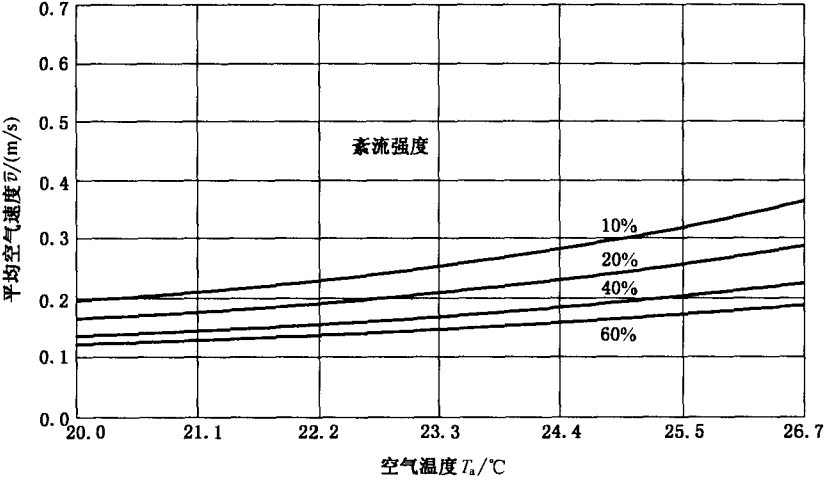


图 5 允许平均空气速度与空气温度和紊流强度之间的函数关系

使用本公式计算出的 DR 值必须处于表 1 规定的涡动气流范围以内,平均而言,装有混风设备的房间大部分地方的紊流强度为 35%左右,而装有置换通风设备的房间或者没有机械通风的房间的紊流强度为 20%。如果没有测量紊流强度,在使用上面公式时需要使用这些数值。

本条所规定的要求不适用于 5.2.4 的提高空气速度的情况,但是当使用者选择关闭高风速时这些要求可以适用。

5.2.5.4 垂直空气温度差

导致头部高度层空气比脚腕高度层空气暖和的热分层现象可能会导致热不舒适,本条对此进行了规定。图 6 给出了两高度层空气温度差与预计不满意率的函数关系。让人感觉更喜欢的反向热分层情况是罕见的,因此本标准不予考虑。

两高度层之间所允许的空气温度差应该小于 3 °C,也可以联合使用图 6 和表 1 中的垂直温度差所致 PD 限度进行确定。

5.2.5.5 地面温度

当地面温度太暖或者太冷时人们可能感觉不舒服,对穿鞋人们脚部的热感觉影响最重要的因素是地面温度而不是地板覆盖材料的温度。图 7 给出了地面温度与预计不满意率之间的函数关系,它是基于人们穿轻便室内鞋的情况给出的,当然也可以应用于穿厚鞋的情况,只是这种情况下显得保守。本标

准对于不穿鞋的情况不予考虑,也不考虑人们坐在地板上面的情况。

地面极限温度为 19℃~29℃,也可以联合使用图 7 和表 1 中的地板温度所致 PD 限度进行确定。

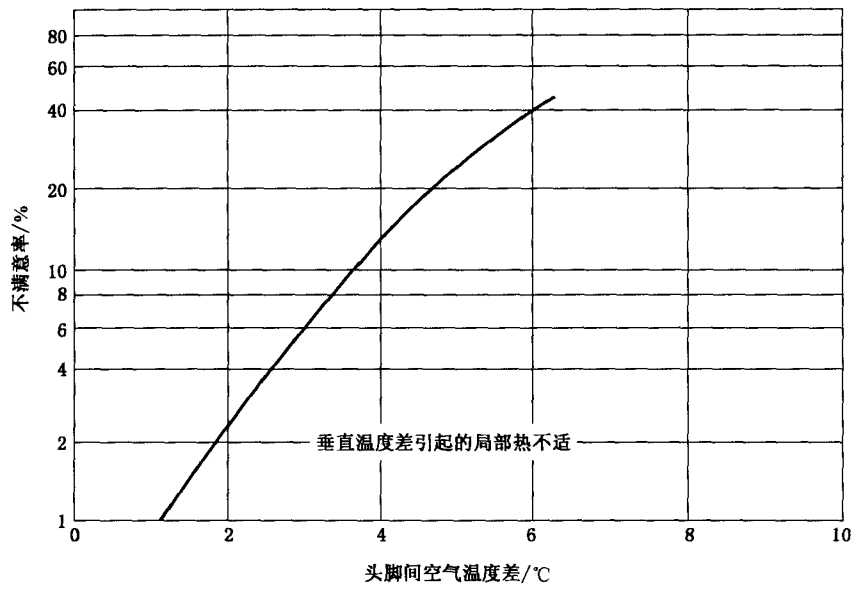


图 6 由于垂直温度差引起的局部热不适

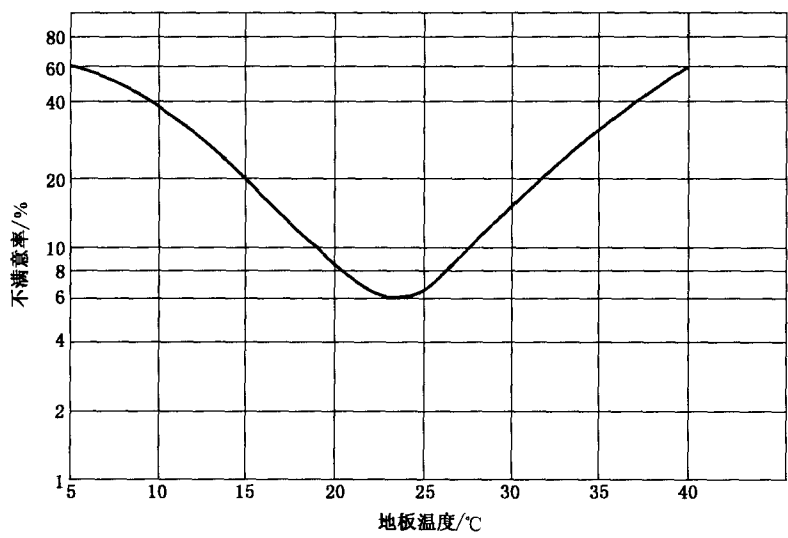


图 7 凉、暖地板所引起的局部不舒适

5.2.6 温度的时变

5.2.6.1 总则

空气温度或者平均辐射温度的波动会影响人们的热舒适。如果这些波动处于个体的直接独立控制之下则不会对热舒适造成负面影响,本条所提的要求不是针对这类波动情况的。如果引起波动的因素不处于个体的直接独立控制之下就会对热舒适造成负面影响,本条所提的要求正是针对这类波动情况的。人们在热环境条件不同的地方移动从而感受到温度波动是允许的,只要这些热环境都处于热舒适范围。

5.2.6.2 周期性波动

这里的周期性波动指的是作业温度重复地上升和下降,而波动周期不长于 15 min。如果波动周期超过 15 min,则这类波动可以当作作业温度的漂移或者斜变,这时应采用 5.2.5.3 的要求。在一些情况

下,温度的波动是不长于 15 min 的波动叠加到一个更长周期的波动之上,在这类情况下,短于 15 min 的波动部分使用 5.2.5.2 的要求,而长周期部分使用 5.2.5.3 的要求。作业温度的最大峰-峰周期性波动量规定为 1.1℃。

5.2.6.3 漂移或者斜变

温度的漂移或者斜变是作业温度的单调非循环变化,本条中的要求也适用于循环变化周期长于 15 min 的情况。一般地,温度漂移指的是封闭空间温度的被动变化,而温度斜变指的是温度的主动控制变化,本条的要求对于这两种情况是相同的。

表 3 规定了一定时间以内最大允许的作业温度变化。对于任意给定的时间区间,需要使用表 3 中最严格的要求,例如作业温度在任意 1.0 h 时间段内不能波动超过 2.2℃,同时在这 1 h 以内的任意 0.25 h 时间段内不能波动超过 1.1℃。而如果温度变化是由用户控制或者调节造成的,则可以接受更高的数值。

表 3 温度漂移和斜变极限

时间段/h	0.25	0.50	1	2	4
最大允许作业温度变化/℃	1.1	1.7	2.2	2.8	3.3

5.3 自然调节空间可接受热环境条件的确定方法

在本标准中,使用者控制的自然调节空间为主要通过开关窗户来实现热调节的热环境。现场实验显示:在这类空间中人的热响应部分取决于室外气候条件,而且可能与在使用中央空调系统的楼内人的热响应不同,这是由不同的热经历、着装的变化、温度的可控性以及人们期望值的变化引起的。这一可选用的方法正是针对这一类空间设计的。

为了使用这一可选方法,问题中的空间需要装有可操作的开向室外的窗户,而且这些窗户随时可以被使用者打开或者调节,空间中不能有机机械冷却系统(制冷空调、辐射制冷或者干燥),可以使用没有制冷功能的机械通风系统,但调节空间热条件的主要手段必须是开关窗户。有时空间中可能装有取暖系统,但本可选方法在取暖系统工作时不适用。本方法只能在人从事接近静坐条件的体力活动时才能适用,即代谢率在 1.0 MET~1.3 MET 之间,可以用 GB/T 18048 来估算代谢率。本方法只能在人可以根据室内外热条件自由调节衣服时才能适用。

在上述这些条件都满足时,可以使用图 8 来确定允许的室内作业温度,图 8 包括两个作业温度极限,一个对应于 80%接受性,另一个对应于 90%接受性。在缺乏其他信息的典型应用场合下使用 80%接受性极限温度,在期望更高热舒适时使用 90%接受性极限温度。图 8 是基于由全球 21 000 个测试数据推出的热舒适适应模型得出的,这些测试一般都是在办公楼进行的。

图 8 中的允许作业温度极限不能在室外温度高于或者低于曲线端点时进行插值,如果月平均室外温度低于 10℃或者高于 33.5℃,则不能使用本方法,本标准中也没有针对这类自然调节空间相对应的指导原则。

图 8 已经考虑了典型楼内的局部热不舒适效应,因此采用本方法时不再需要考虑局部不舒适性因素。然而当确信局部不舒适是个问题时,也可以使用 5.2.5 中的准则来处理。

图 8 也考虑了人们在这类自然调节空间中根据室内温度和室外气候条件调节衣服的问题,因此也不用再单独考虑着装的隔热值问题。

在使用本方法时不需要湿度和空气速度。

5.4 热环境变量描述

下面关于热环境变量的描述意在帮助理解它们在第 5 章中的使用,而不是作为测量指标。第 7 章规定了测量要求,如果本条的描述与第 7 章的测量要求有不一致的地方,则在用于测量时应该依据第 7 章的规定。在第 5 章中,热环境是针对里面的人员而言的。

空气温度为围绕个体的空气的平均温度,这里平均的概念是针对位置和时间而言的。针对位置平均,最低要求是计算人员脚腕、手腕和头部位置温度的算术平均值,这些部位的高度对于坐姿的人分别是 0.1 m、0.6 m 和 1.1 m,而对于站姿的人分别是 0.1 m、1.1 m 和 1.7 m;也可以将这三个位置中间等

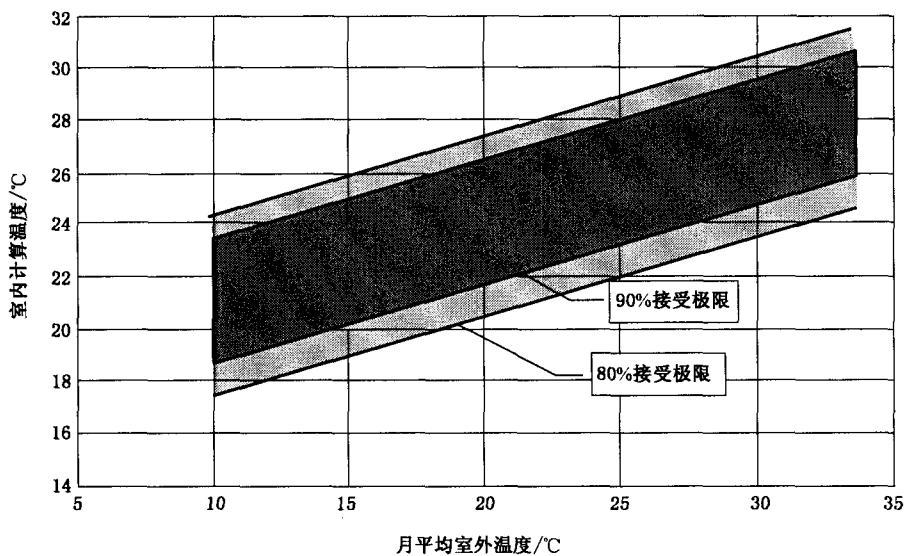


图 8 自然调节空间的可接受作业温度范围

间距的温度值用于求算术平均值的计算中。当个体处于直射气流中时,应该采用上游温度。针对时间平均,最低要求是 3 min 时间段以内最少 18 个时间点的算术平均值,然而如果需要,这一时间段也可以延长到 15 min 来均化周期性的温度波动。时间平均针对所有空间平均中的测量位置。

局部空气温度与空气温度概念相同,只是仅针对一个高度(如头部高度),至少需要在这一高度测量一点,但围绕身体测量多个点可以获得更好的平均值。

平均辐射温度为一个黑色包围体的均匀温度,该包围体与个体的热辐射传热与其所处的实际环境相同。它对于个体的整个身体是一个单值,可以认为是人员周围表面温度的加权平均值,权重系数考虑这些面的入射视角。本章中,这一数值也是时间平均值,最低要求是 3 min 时间段以内最少 18 个时间点的算术平均值,然而如果需要,这一时间段也可延长到 15 min 来平均周期性的温度波动。

作业温度为空气温度和平均辐射温度的加权平均值,权重系数取决于与人员有关的对流换热系数和线性化热辐射系数。对于从事接近静坐条件活动(代谢率在 1.0 MET~1.3 MET 之间)、不受阳光直接照射、空气速度不大于 0.20 m/s 的人员,可以使用下面公式获得满意精度的近似:

$$T_o = (T_a + T_r)/2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

T_o ——作业温度;

T_a ——空气温度;

T_r ——平均辐射温度。

辐射不对称性为平面两个相反方向上的辐射温度差。平面辐射温度的定义与平均辐射温度类似,只是它是针对平面某方向表面向一个小平面单元所发出的热辐射。垂直辐射不对称性针对平面上下表面的辐射温度,而水平辐射不对称性针对水平方向上所有平面中正反面辐射温度的最大差异。辐射不对称性采用手腕高度,对于坐姿的人为 0.6 m,而对于站姿的人为 1.1 m,辐射不对称性的时间平均与平均辐射温度的定义一样。

地板与人的鞋直接接触时定义为地板表面温度(T_f)。由于地板温度很少快速变化,因此不需要考虑时间平均。

月平均室外温度为一个月每天平均最低室外空气温度(干球温度)和最高室外空气温度的平均值。

空气速度为人体周围空气的平均速度。平均相对于位置和时间而言,这里的时间平均和位置平均都跟空气温度中的规定一样,然而这里的时间段只能为 3 min,如果波动的时间超过 3 min 则认为是多个不同的空气速度。

紊流强度为空气速度相对于时间的标准差与时间平均速度的比值。紊流强度主要考虑身体的头/

肩部分坐姿时为 1.1 m,而站姿时为 1.7 m;而如果脚踝/下腿部位没有衣服也可以予以考虑坐姿和站姿时都是 0.1 m。

湿度为描述空气中水蒸气含量的一个一般参考指标,可以用多个热力学变量表示,包括蒸汽压、露点温度和相对湿度。其空间平均和时间平均的概念与空气温度一样。

6 标准的采用

6.1 设计

6.1.1 一般设计原则

本标准并不包括空间中有关机械系统、控制系统和热封层的具体要求,但建筑系统(包括机械系统、控制系统和热封层)在设计时必须使得所设计的温度能处于本标准某一方法所要求的温度范围,另外在上述各子系统没有处于极端状况时,在各种预计可能发生的组合情况下所设计的系统均需要能将空间的温度保持在标准规定的范围内。所设计的系统应该在满工作负荷以下能控制空间的温度达到标准所规定的舒适要求。

针对建筑的预期使用要求,需要依据 6.1.2 要求来对设计所依据的方法和条件进行选择 and 编制文档。

设计天气条件依据统计数据,并且要明确给出越限的百分比(例如:基于夏天 4 个月天气条件,设定 1% 的越限水平,即 29 h)。这样的设计原则体现了下列情况的不现实性:提供针对所有可能遇到的负荷条件、在所有天气条件或者运行条件下都能终生满足要求的温度调节系统。因此在实际中,当实际情况偏离设计条件时,第 5 章的要求有可能得不到满足。另外由于其他极限设计负荷很少会与极限天气负荷同时出现,因此基于天气的越限值往往低于设计越限值。

由于个体之间代谢率的差异和相应的对热环境反应的差异,建筑物的实际运行温度无法在本标准中进行规定。

6.1.2 文档

需要提供并维护好建筑系统的完整规划、描述、部件、运行和维护指南等一系列文档,这些文档包括(但不限于)建筑系统如下的设计指标和设计内容:

- 需要说明系统的设计准则,包括室内温度和湿度以及它们的公差或范围,设计所基于的室外环境条件和室内总负荷,需要清楚地说明在计算设计温度时舒适参数的假定值。
- 需要说明在室外环境条件下为了获得所设计的室内条件,所必须的系统输入和输出容量,所安装系统能提供的输入输出满容量也必须给出。
- 需要说明控制环境的范围限度指标是基于温度的、湿度的、通风的、周时间的、日时间的还是季节的。
- 需要显示系统控制总体空间的分布图,图中所有的区域需要一一标出。所有通风调节装置和终端单元都要绘出并且用种类和流向/辐射值标出。
- 如果重要结构或者装饰会影响室内热舒适,则也要绘出。需要注明空间中的哪些地方、通风调节装置、终端单元、散风格子或者控制传感器附近哪些位置不能遮挡以免影响室内舒适。
- 需要标出空间中哪些地方处于舒适控制范围之外,人们不能长期在那里。
- 需要标出所有能为使用者调节的控制器位置,每一控制器处都要用符号标出它控制哪一区域、有哪些控制功能、如何调节、影响范围多大,以及一天或者季节中不同时间段或者不同容纳人数的推荐设置。
- 需要用原理简图精确标出传感器、调节器和执行器所对应的区域。如果各个区域控制系统相互独立并且雷同,则只要标出每一个所对应的区域,给出一个系统的实例就足够。而如果各控制系统相互依赖或者相互影响,则需要在总体简图中用点来标出它们之间的联系。
- 需要说明建筑系统的一般维护、运行和性能,并且要针对自动控制或者手动调节控制给出其维护和运行的详细推荐意见以及系统响应情况。如果需要,还要说明特定季节的手动调节设置,并且标出需要由专业服务机构来提供的更换工作。
- 需要说明手动调节控制的具体范围,并且说明各个季节的推荐设置值,以及为了精确调节需要

一次性调节的调节量或者需要多次调节的间隔时间。需要给出所有与热环境相关的建筑系统的维护和检查时间表。

——需要将在计算热调节系统负荷时所假定的照明用和设备用电气负荷值归档,这一负荷还应当包含其他重要的热负荷或者湿度负荷,以及其他在计算负荷时的假设。

注:上述条目对于自然调节的建筑系统不一定适用。

6.2 验证

需要按照第7章的要求进行验证工作,以便证明该建筑系统能针对设计要求,在6.1.2设计所规定的非极限条件下满足第5章的要求运行。

7 热环境的评价

7.1 测量装置要求

所使用的测量仪器需要在测量范围和测量精度方面满足 ISO 7726 标准。

7.2 测量位置

7.2.1 测量地点

测量应该选在建筑物中人员已知所处或者预期所处的位置进行。依据空间的用途不同,这些地点可能是工作单元位置或者座位位置。在有人的房间,测量需要在工作区域所有地方选择有代表性的地点进行;在无人的房间,评估者需要较好地预估未来最重要的地点进行测量。

如果使用者的空间分布无法估计,则可以使用下面办法进行测量:

——在房间或者区域的中心位置;

——房间每一面墙 1.0 m 以内。如果有窗户的外墙,则测量位置为最大窗户中心 1.0 m 以内。

在上述任何一种条件下,都是选择估计或者观测到出现极端热参数的地方进行测量,典型的情况可能包括:窗户附近、出口扩散处、角落和入口处。进行测量时要离开房间边界和墙面足够远以便使传感器附近的空气循环比较充分。

只要能证明房间或者热调节区域内绝对湿度不会出现显著差异,则对于每一房间或者区域只需要测量一点的绝对湿度就可以了,否则需要在上述每一测量点处测量绝对湿度。

7.2.2 距地测量高度

按照 7.2.1 的要求,坐姿情况下温度和空气速度的测量高度分别为 0.1 m、0.6 m 和 1.1 m;而站姿情况下分别为 0.1 m、1.1 m 和 1.7 m。作业温度或者 PMV-PPD 则在 0.6 m 高度(坐姿)或者 1.1 m(站姿)高度进行测量或者计算。

辐射不对称性在坐姿时测量高度取 0.6 m,而在站姿时取 1.1 m。如果桌类家具挡住了强烈的热辐射或者散热,则测量高度取桌面以上。地面温度在安装预期地面覆盖物的情况下测量。如果只需要一个测量点,则湿度测量可以在区域内任何高度测量,否则在坐姿时测量高度取 0.6 m,而在站姿时取 1.1 m。

7.3 测量时长

7.3.1 空气速度

在每一测量点为求取平均值,测量空气速度的时间均为 3 min。测量紊流强度时也是采用相同的时间,将速度标准差除以平均速度得到(见第3章的响应时间定义及其与时间常数的定义)。

7.3.2 温度循环和漂移

使用作业温度的变化率来确定实际情况是否符合第5章中规定的非稳态要求。作业温度变化率指的是同一波动循环中测得的最高与最低温度的差值除以时间长度(单位为 min)。

$$\text{变化率 } (^{\circ}\text{C}/\text{h}) = 60 \times (T_{o,\max} - T_{o,\min}) / \text{时间 (min)}$$

为了描述温度循环的确切情况,需要连续测量至少 2 h,期间每 5 min 或者更短时间测量一次。最好使用自动测量和记录方法,当然也可以使用本条的规定进行非自动测量。

7.3.3 着装与活动

在建筑物里面,也许需要测量人们的着装和活动情况,这些测量应该在在进行热参数测量前半个小时至一个小时以内,而且使用这一时间段内的测量平均值。

7.4 测量条件

为了确定建筑系统满足本标准规定的环境条件的性能,需要按照下述条件进行测量。

在采暖期间(冬季条件)测试时,需要在室内外温差不小于设计温差的 50%,而且多云或者少云天气条件下进行测量。如果这一天气条件罕见而且不代表设计时所设定的天气条件,则使用设计时所设定的天气条件进行测量。

在制冷期间(夏季条件)测试时,需要在室内外温差和湿度不小于设计温差和湿度的 50%,而且晴或者少云天气条件下进行测量。如果这一天气条件罕见而且不代表设计时所设定的天气条件,则使用设计时所设定的天气条件进行测量。

在测试大型建筑的内部区域时,如果调节系统不是比例控制的,则需要在区域负荷不小于设计负荷 50%,而且调节系统工作至少一个完整周期条件下进行测量。对于室内人的产热则推荐使用模拟产热法代替。

7.5 机械设备工作条件

在使用本标准分析环境时,为了确定适当的修正量,机械系统的下列运行情况需要与环境数据同时测量:测量空间的空气供给率、室内与供给空气的温度差、室内混合器或者出气口的类型和位置、流出空气速度、周边热源类型位置和状态、回风格子窗位置和尺寸、空气供给系统类型、加热或者冷却面的表面温度、液体循环系统的进出水温度。

7.6 新建筑和装置的热环境验证

7.6.1 定义指标

在验证一个热环境是否满足本标准要求之前,需要首先定义初始设计规定的指标。根据这一定义,验证小组可以评估系统满足和维持期望舒适水平的能力。舒适指标包括(但不限于)温度(空气、辐射、表面)、湿度、空气速度。

还需要确定初始时规定的环境条件,以确保所进行的测量能正确地与设计参数相对应。环境条件包括(还是不限于)室外温度设计条件、室外湿度设计条件、着装(季节性)和期望的体力活动。

7.6.2 选择验证方法

为了衡量热环境符合上述 7.6.1 描述的要求的能力,可以采用两种方法(一个在 7.6.2.1 描述,另一个在 7.6.2.2 描述)。第一种验证方法通过调查结果评价来对热环境的人群满意性进行统计确定,第二种验证方法通过环境变量分析对舒适条件进行技术确定。

7.6.2.1 人群调查

本标准的目的在于确保房间、建筑物等对于大多数(至少 80%)人群是舒适的,因此人群调查是评价环境条件的有效方法。这一调查需要在每一种运行模式下针对每一种设计条件进行,因此需要由负责进行空间热环境验证的小组给出一个调查表,这一调查表至少需要被调查者填写如下数据:被调查者姓名、日期和时间,室外大致的空气温度,晴天/阴天(如果是),季节条件,被试的着装,被试的活动水平,有关的设备,一般热舒适水平,被试的位置。

除了被调查者信息,调查表还应该留出一定空间供调查者编号、概括结果和签名。

7.6.2.2 分析环境变量

第二种评价舒适条件的方法是分析具体环境数据与本标准要求之间的符合性。每一个验证热环境的应用场合都是各不相同的,因此需要一个具体的测试计划来对应项目的范围。

当需要评估待验证环境的舒适条件,确定验证地板表面温度、垂直温度差和辐射温度不对称性等时,确保采用波动的最大可能值至关重要(例如在晴天情况下读取辐射不对称温度值)。

在各种可以预期的运行条件下校验空气速度、空气温度和湿度。

——通过一组在空间中选定位置测得的空气速度值来校验其是否满意。对于空调换风系统,测量点选择在通风量最大而温度最低的地方。

——确定测量空气温度和湿度的最佳位置。空气温度和空气湿度的性能需要看趋势数据。

当变量出现趋向性时,成功的舒适控制是稳态性能的函数。稳态需要趋向变量值处于特定范围而且没有周期波动性。周期性指的是在每 15 min 或者更短时间内波动超过容许范围 50%的情况。趋向

变量的验证需要在每一季节条件下超过一个循环周期。当区域内的热环境条件对一天内的时间或者天气条件具有高敏感性时,需要测量热参数在高极限和低极限条件下的数值。

7.6.3 提供文档

验证工作还包括完整的归档过程。不管使用哪一种验证热环境的方法,这一过程都需要较好地归档。

7.6.3.1 建立调查文档

当按照 7.6.2.1 方法对建筑内的人群进行调查时,需要开发、撰写、推敲调查方法,准备调查表样本,然后交由相关方面进行评价和批准。

7.6.3.2 建立变量分析文档

当按照 7.6.2.2 方法对环境变量进行分析时,需要准备趋势日志和数据分析,另外如果验证前没有提供该分析,则需要提交趋势方法报批准。

附录 A
(资料性附录)
作业温度的计算

当以下四个条件都满足时可以近似假定作业温度等于空气温度：

- 没有辐射加热或者辐射冷却系统；
- 室外窗户/墙面的平均 U 因素由式(A.1)确定：

$$U_w < \frac{50}{t_{d,i} - t_{d,e}} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- U_w ——窗户(墙面)的平均 U 因素,单位为瓦每平方米开(W/m²·K)；
- $T_{d,i}$ ——内部设计温度,单位为摄氏度(℃)；
- $T_{d,e}$ ——外部设计温度,单位为摄氏度(℃)。
- 窗户太阳吸热系数(SHGC)小于 0.48；
- 空间中没有主要的产热设备。

根据空气温度和平均辐射温度求取作业温度。

在空气相对速度比较小(<0.2 m/s)或者平均辐射温度与空气温度差异比较小(<4℃)的多数实际情况下,作业温度用平均辐射温度和空气温度的平均值来近似具有足够的精度。为了获得更高的近似精度或者对于其他情况,可以使用式(A.2)计算：

$$T_{op} = A \cdot T_a + (1 - A)T_r \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

- T_{op} ——作业温度,单位为摄氏度(℃)；
- T_a ——空气温度,单位为摄氏度(℃)；
- T_r ——平均辐射温度,单位为摄氏度(℃)。

A 可以作为空气相对速度的函数在表 A.1 中得到。

表 A.1 A 取值表

$v_r/(m/s)$	<0.2	0.2~0.6	0.6~1.0
A	0.5	0.6	0.7

参 考 文 献

- [1] 2001 ASHRAE Handbook-Fundamentals.
 - [2] ASHRAE Thermal Comfort Tool CD (ASHRAE Item Code 94030).
 - [3] ASHRAE Standard 70-1991, Method of Testing for Rating the Performance of Air Outlets and Inlets.
 - [4] ASHRAE Standard 113-1990, Method of testing for Room Air Diffusion.
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
室内热环境条件
GB/T 5701—2008

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

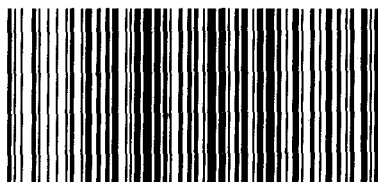
*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 38 千字
2008 年 11 月第一版 2008 年 11 月第一次印刷

*

书号: 155066·1-34504 定价 20.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533



GB/T 5701-2008